

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 10-301979

(43)Date of publication of application : 13.11.1998

(51)Int.Cl. G06F 17/50  
H01L 21/00

(21)Application number : 09-113077 (71)Applicant : OKI ELECTRIC IND CO LTD

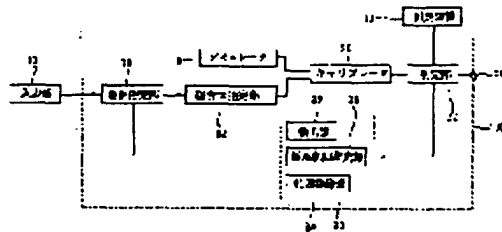
(22)Date of filing : 30.04.1997 (72)Inventor : MIURA NORIYUKI

## (54) METHOD AND DEVICE FOR EXTRACTING MODEL PARAMETER

### (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To automate a model parameter extracting device by automating the reset of a model parameter.

**SOLUTION:** The device 100 is provided with a range specification part 16, a combination specification part 32, a simulator 18, a calibrator 20, a judging part 22, and a range updating part 24. The updating part 24 is provided with a detection part 26, a new range specification part 28 and a range moving part 30. The detection part 26 detects a model parameter minimizing a difference between an objective characteristic value and a measured characteristic value as a quasi-optimum value. The specification part 28 specifies a numerical range of range length corresponding to a half of the range length of a preceding control range around the quasi-optimum value as a new control range. When the quasi optimum value is a value on the end of the control range, the range moving part 30 moves the quasi-optimum value to the other end while holding the range length of the control range.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 20.02.2002

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

識別記号

F I

G 0 6 F 17/50

G 0 6 F 15/60

6 6 6 S

H 0 1 L 21/00

H 0 1 L 21/00

審査請求 未請求 請求項の数12 O L (全 17 頁)

(21) 出願番号 特願平9-113077

(22) 出願日 平成9年(1997)4月30日

(71) 出願人 000000295

沖電気工業株式会社

東京都港区虎ノ門1丁目7番12号

(72) 発明者 三浦 規之

東京都港区虎ノ門1丁目7番12号 沖電気  
工業株式会社内

(74) 代理人 弁理士 大垣 孝

(54) 【発明の名称】 モデルパラメータ抽出方法およびモデルパラメータ抽出装置

(57) 【要約】

【課題】 モデルパラメータの再設定を自動化することにより、モデルパラメータ抽出装置の自動化を図る。

【解決手段】 モデルパラメータ抽出装置100は、範囲指定部16と、組合せ指定部32と、シミュレータ18と、キャリブレータ20と、判定部22と、範囲更新部24とを具備している。この範囲更新部24は、検出部26、新規範囲指定部28および範囲移動部30を具備している。検出部26は、目標特性値および実測特性値の間の差が最小となるモデルパラメータを準最適値として検出する。新規範囲指定部28は、準最適値を中心とした前の調節範囲の範囲長の半分の範囲長の数値範囲を新規の調節範囲として指定する。範囲移動部30は、準最適値が調節範囲の端の値であったときに、この調節範囲の範囲長を保ったまま、準最適値がこの端とは別の端になるように、この調節範囲をずらす。

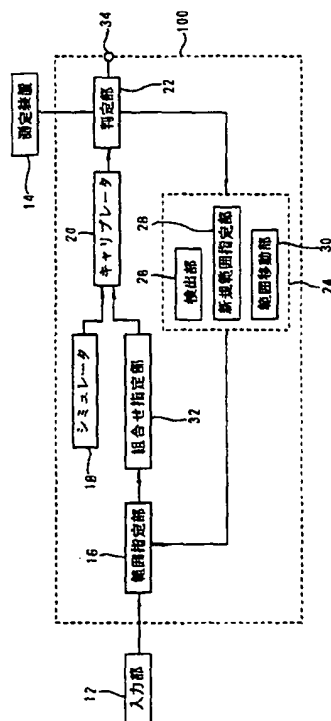


図1の要約の形態のモデルパラメータ抽出装置

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 モデルパラメータの調節範囲を指定する範囲指定部と、  
 目標特性値を計算するシミュレータと、  
 前記指定された調節範囲内でモデルパラメータを調節することにより前記計算された目標特性値に対するモデルパラメータのキャリブレーションを行うキャリブレータと、  
 前記目標特性値および実測特性値間の収束判定を行う判定部と、  
 前記判定部の収束判定結果に応じた前記モデルパラメータの調節範囲の再指定を行う範囲更新部とを具えたモデルパラメータ抽出装置であって、  
 前記範囲更新部は、前記目標特性値および前記実測特性値間の差が最小となるモデルパラメータを準最適値として検出する検出部と、  
 前記準最適値を中心とし、前記調節範囲の範囲長の半分の範囲長である数値範囲を、新規の調節範囲として指定する新規範囲指定部とを具えることを特徴とするモデルパラメータ抽出装置。

【請求項2】 請求項1に記載のモデルパラメータ抽出装置において、  
 前記範囲更新部は、前記準最適値が前記調節範囲の端の値であったときに、該調節範囲の範囲長を保ったまま、前記準最適値が前記端とは別の端になるように、該調節範囲をずらす範囲移動部を具えることを特徴とするモデルパラメータ抽出装置。

【請求項3】 請求項1に記載のモデルパラメータ抽出装置において、  
 前記モデルパラメータが複数の場合に前記調節範囲内でモデルパラメータを組合せて出力する組合せ指定部を具えることを特徴とするモデルパラメータ抽出装置。

【請求項4】 請求項1に記載のモデルパラメータ抽出装置において、  
 前記キャリブレータは、前記目標特性値に対して低感度のモデルパラメータを検出する感度解析部を具えることを特徴とするモデルパラメータ抽出装置。

【請求項5】 請求項1に記載のモデルパラメータ抽出装置において、  
 ユーザパラメータを設定するためのパラメータ設定部を具えることを特徴とするモデルパラメータ抽出装置。

【請求項6】 請求項3に記載のモデルパラメータ抽出装置において、  
 前記モデルパラメータの調節手順を記憶しておくためのメモリ装置を具えておき、該メモリ装置を参照して前記範囲指定部が前記調節範囲の指定を行い、該メモリ装置を参照して前記組合せ指定部が前記モデルパラメータの調節を行うことを特徴とするモデルパラメータ抽出装置。

【請求項7】 モデルパラメータの調節範囲を指定する

範囲指定ステップと、

目標特性値を計算するシミュレーションステップと、  
 前記指定した調節範囲内でモデルパラメータを調節することにより前記計算した目標特性値に対するモデルパラメータのキャリブレーションを行うキャリブレーションステップと、  
 前記目標特性値および実測特性値の間の収束判定を行う判定ステップと、  
 前記判定部の収束判定結果に応じた前記モデルパラメータの調節範囲の再指定を行う範囲更新ステップとを含むモデルパラメータ抽出方法であって、  
 前記範囲更新ステップは、前記目標特性値および前記実測特性値間の差が最小となるモデルパラメータを準最適値として検出する検出ステップと、  
 前記準最適値を中心とし、前記調節範囲の範囲長の半分の範囲長である数値範囲を、新規の調節範囲として指定する新規範囲指定ステップとを含むことを特徴とするモデルパラメータ抽出方法。

【請求項8】 請求項7に記載のモデルパラメータ抽出方法において、  
 前記範囲更新ステップは、前記準最適値が前記調節範囲の端の値であったときに、該調節範囲の範囲長を保ったまま、前記準最適値が前記端とは別の端になるように、該調節範囲をずらす範囲移動ステップを含むことを特徴とするモデルパラメータ抽出方法。

【請求項9】 請求項7に記載のモデルパラメータ抽出方法において、  
 前記モデルパラメータが複数の場合に前記調節範囲内でモデルパラメータを組合せて出力する組合せ指定ステップを含むことを特徴とするモデルパラメータ抽出方法。

【請求項10】 請求項7に記載のモデルパラメータ抽出方法において、  
 前記目標特性値に対して低感度のモデルパラメータを検出する感度解析ステップを含むことを特徴とするモデルパラメータ抽出方法。

【請求項11】 請求項7に記載のモデルパラメータ抽出方法において、  
 ユーザパラメータを利用することを特徴とするモデルパラメータ抽出方法。

【請求項12】 請求項9に記載のモデルパラメータ抽出方法において、  
 前記モデルパラメータの調節手順をメモリ装置に記憶するステップと、該メモリ装置を参照して、前記調節範囲の指定および前記モデルパラメータの調節を行うステップとを含むことを特徴とするモデルパラメータ抽出方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 この発明は、半導体集積回路のプロセスやデバイスや回路のシミュレーション用のモ

デルパラメータ抽出装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】プロセスシミュレーションは、半導体デバイスの製造工程例えばイオン注入、酸化、拡散、エピタキシャル成長、エッチング、デポジション、リソグラフィ等の工程での基板等の材料の物理的および化学的变化をモデル化し、これら工程を経た後の不純物分布やデバイス形状を計算機を用いて求めるものである。また、デバイスシミュレーションとは、デバイスの物理的形状および不純物分布をもとにして、デバイス内部のキャリアの振舞いからデバイス特性を計算機により求めるものである。さらに、回路シミュレーションは、回路シミュレータを用いて、デバイスの製造上のバラツキや温度および経年変化を考慮して、基本ゲートや機能セルに関する動作特性を調べるものである。このようなシミュレーションがさかんに用いられるようになった背景には、集積回路の大規模化に伴い仕様決定から設計および製造までに膨大な時間を要するようになってきたということが挙げられる。上述したシミュレーションによる手法は、この問題に対処するとともに、より精密な解析結果を得るべく発展を遂げてきた。

【0003】半導体集積回路の製造においては、性能(特性)を簡便かつ高精度に予測することが重要である。そのためには、シミュレータに設定されている物理モデルに基づくパラメータ(以下、モデルパラメータと称する。)の値を適切に調節する必要がある。このような調節を行うのがモデルパラメータ抽出装置である。この装置を用いて、要求される製造条件内で試作されたデバイスの特性に合うようにモデルパラメータの調節を行い、その製造条件の最適化を図る。従って、モデルパラメータ抽出装置は重要な役割を果たしている。

【0004】ところで、上述した各シミュレーションでは、例えば、ある物理モデルを想定して、そのモデルに基づく計算によって種々の特性値を求める。そして、このシミュレーションで得た特性値(以下、目標特性値と称する。)とこれに関係するある物理量との間を関係付けるモデルパラメータを求める。最終的に、モデルパラメータは、目標特性値と実測により得た特性値(以下、実測特性値と称する。)とがある許容範囲内となるように、調節される。

【0005】このモデルパラメータの調節に当っては、先ず、目標特性値と物理量との間の関係を求める。そして、この関係が成り立つようにモデルパラメータの値を決定する。ところで、目標特性値が物理量に対して離散的な結果になっていることが多いので、そのままでは目標特性値と実測特性値とを比較することができないことが多い。そこで、目標特性値とモデルパラメータとの間の関係を求めるために、従来、例えば文献「IEEE TRANSACTIONS ON SEMICONDUCTOR MANUFACTURING, VOL. 7,

NO. 1, FEBRUARY 1994」に開示されている実験計画法のRSM(Response Surface Methodology)法が用いられていた。このRSM法を用いることによってRSF(応答曲面関数)を求め、このRSFから物理量の変化に連続的に対応した目標特性値が得られる。この結果、目標特性値と実測特性値との間の比較が可能になるので、これら目標特性値および実測特性値が許容範囲内となるように、モデルパラメータが調節される。

## 【0006】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上述したモデルパラメータの調節(抽出)にあつては、以下に示す(1)～(3)の問題があった。

【0007】先ず、(1)初めに設定したモデルパラメータの範囲内に、目標特性値に合うような最適パラメータが含まれることが稀である。このため、モデルパラメータの調節範囲の設定が難しく、パラメータの更新すなわちモデルパラメータの調節範囲の再設定の際に手作業を必要としていた。

【0008】次に、(2)モデルパラメータ数が増えると、RSFを作成するためのシミュレーション回数が増えるので、計算時間が増大してしまうといった問題がある。

【0009】また、(3)既存のプロセスやデバイスや回路のシミュレーションで用いられる物理モデルを想定しただけでは、目標特性値と実測特性値とが許容範囲内になるようなモデルパラメータが求められない場合がある。

【0010】従って、モデルパラメータの調節範囲の再設定を自動で行うことにより全自動化を図り、パラメータ数を絞り込むことによりシミュレーション回数すなわち計算時間を削減し、目標特性値と実測特性値とが許容範囲内になるようなモデルパラメータを常に求めることができるモデルパラメータ抽出方法およびモデルパラメータ抽出装置の出現が望まれていた。

## 【0011】

【課題を解決するための手段】そこで、この発明のモデルパラメータ抽出装置によれば、モデルパラメータの調節範囲を指定する範囲指定部と、目標特性値を計算するシミュレータと、前記指定された調節範囲内でモデルパラメータを調節することにより前記計算された目標特性値に対するモデルパラメータのキャリブレーションを行うキャリブレータと、前記目標特性値および実測特性値間の収束判定を行う判定部と、前記判定部の収束判定結果に応じた前記モデルパラメータの調節範囲の再指定を行う範囲更新部とを具えたモデルパラメータ抽出装置であつて、前記範囲更新部は、前記目標特性値および前記実測特性値間の差が最小となるモデルパラメータを準最適値として検出する検出部と、前記準最適値を中心とし、前記調節範囲の範囲長の半分の範囲長である数値範

囲を、新規の調節範囲として指定する新規範囲指定部とを具えることを特徴とする。

【0012】ここで、モデルパラメータのキャリブレーション（校正）とは、上述した通り、目標特性値および物理量の関係を満足するモデルパラメータを求めることを意味する。また、目標特性値および実測特性値間の収束判定とは、これら目標特性値および実測特性値の差が許容範囲内にあるか否かを判定することである。また、準最適値とは、ある調節範囲内でモデルパラメータを調節したときに、目標特性値および実測特性値の差が許容範囲内にはないが、その調節範囲内で最も良い収束結果を与えるモデルパラメータの値のことである。

【0013】そして、この発明のモデルパラメータ抽出装置は、上述した範囲更新部を具えているので、自動的にモデルパラメータの調節範囲を絞り込むことができる。従って、モデルパラメータの再設定を従来のように手作業で行う必要がなくなり、よって、モデルパラメータ抽出装置の全自動化が図れる。

【0014】また、この発明のモデルパラメータ抽出装置において、好ましくは、前記範囲更新部は、前記準最適値が前記調節範囲の端の値であったときに、この調節範囲の範囲長を保ったまま、前記準最適値が前記端とは別の端になるように、この調節範囲をずらす範囲移動部を具えているのが良い。

【0015】このように範囲更新部を構成しておくこと、最適モデルパラメータを含む調節範囲を適切に設定するとともに調節範囲を絞り込むことができる。

【0016】また、この発明のモデルパラメータ抽出装置において、好ましくは、前記モデルパラメータが複数の場合に前記調節範囲内でモデルパラメータを組合せて出力する組合せ指定部を具えているのが良い。

【0017】このように、組合せ指定部には範囲指定部で指定した調節範囲が入力され、組合せ指定部は各モデルパラメータをその調節範囲内で適当にそれぞれ調節した後にこれらをキャリブレータに出力する。従って、この組合せ指定部によって、複数のモデルパラメータを調節する必要があるときに、調節範囲内の各モデルパラメータの全組合せが順次にキャリブレータに出力される。

【0018】また、この発明のモデルパラメータ抽出装置において、好ましくは、前記目標特性値に対して低感度のモデルパラメータを検出する感度解析部を具えているのが良い。

【0019】上述のキャリブレータは、例えばRSM法を用いることによりモデルパラメータと目標特性値との間の関係を求める。そして、この構成例のキャリブレータは、各モデルパラメータの変動に対する目標特性値の変化の大きさをそれぞれ検出する感度解析部を具えている。この感度解析部は、検出した変化の大きさがある設定値より小さいモデルパラメータを低感度のモデルパラメータであると判定する機能を有している。このように

して検出した低感度のモデルパラメータは、目標特性値に比較的大きな変化を与えないパラメータである。すなわち、目標特性値はこのような低感度のモデルパラメータには比較的大きく依存しない。従って、この低感度のモデルパラメータを除外して他のモデルパラメータのみの調節を行うようにすると、計算時間を短縮することができる。

【0020】また、この発明のモデルパラメータ抽出装置において、好ましくは、ユーザパラメータを設定するためのパラメータ設定部を具えているのが良い。

【0021】ユーザパラメータとは、ユーザが任意に設定できるパラメータのことであり、対象とする製造条件内で試作されたデバイスの特性を広く高精度に予測する必要性から、既存のプロセス・デバイス・回路モデルでは定数としてのみ設定されるパラメータに製造条件水準の依存性をもたせたものである。従って、既存の物理モデルを用いるだけでは目標特性値と実測特性値とを許容範囲内に収束させることができない場合であっても、このようなパラメータをパラメータ設定部に設定して、このパラメータを用いて調節を行えば、収束させることが可能になる。

【0022】また、この発明のモデルパラメータ抽出装置において、好ましくは、前記モデルパラメータの調節手順を記憶しておくためのメモリ装置を具えておき、このメモリ装置を参照して前記範囲指定部が前記調節範囲の指定を行い、このメモリ装置を参照して前記組合せ指定部が前記モデルパラメータの調節を行うように構成するのが良い。

【0023】このように、モデルパラメータの抽出手順（調節手順）をメモリ装置に記憶してデータベース化しておくことにより、このデータベースを用いることによって、過去と同様あるいは類似の製造プロセスについてのモデルパラメータの抽出に用いた手順を利用することができる。従って、シミュレーション回数や計算時間を削減することができる。

【0024】次に、この発明のモデルパラメータ抽出方法によれば、モデルパラメータの調節範囲を指定する範囲指定ステップと、目標特性値を計算するシミュレーションステップと、前記指定した調節範囲内でモデルパラメータを調節することにより前記計算した目標特性値に対するモデルパラメータのキャリブレーションを行うキャリブレーションステップと、前記目標特性値および実測特性値間の収束判定を行う判定ステップと、前記判定部の収束判定結果に応じた前記モデルパラメータの調節範囲の再指定を行う範囲更新ステップとを含むモデルパラメータ抽出方法であって、前記範囲更新ステップは、前記目標特性値および前記実測特性値の間の差が最小となるモデルパラメータを準最適値として検出する検出ステップと、前記準最適値を中心とし、前記調節範囲の範囲長の半分の範囲長である数値範囲を、新規の調節範囲

として指定する新規範囲指定ステップとを含むことを特徴とする。

【0025】このように、この発明のモデルパラメータ抽出方法は、上述した範囲更新ステップを含むので、自動的にモデルパラメータの調節範囲を絞り込むことができる。従って、モデルパラメータの再設定を従来のように手作業で行う必要がなくなり、よって、モデルパラメータの抽出手順の自動化が図れる。

【0026】また、この発明のモデルパラメータ抽出方法において、好ましくは、前記範囲更新ステップは、前記準最適値が前記調節範囲の端の値であったときに、この調節範囲の範囲長を保ったまま、前記準最適値が前記端とは別の端になるように、この調節範囲をずらす範囲移動ステップを含むのが良い。

【0027】このように範囲更新ステップを行うと、最適モデルパラメータを含む調節範囲を適切に設定するとともに調節範囲を絞り込むことができる。

【0028】また、この発明のモデルパラメータ抽出方法において、好ましくは、前記モデルパラメータが複数の場合に前記調節範囲内でモデルパラメータを組合せて出力する組合せ指定ステップを含むのが良い。

【0029】このように、組合せ指定ステップにおいて、範囲指定ステップで指定した調節範囲を参照して、各モデルパラメータをその調節範囲内で適当にそれぞれ調節する。従って、この組合せ指定ステップによって、複数のモデルパラメータを調節する必要があるときに、調節範囲内の各モデルパラメータの全組合せを順次に出力することができる。

【0030】また、この発明のモデルパラメータ抽出方法において、好ましくは、前記目標特性値に対して低感度のモデルパラメータを検出する感度解析ステップを含むのが良い。

【0031】上述のキャリブレーションステップでは、例えばRSM法を用いることによりモデルパラメータと目標特性値との間の関係を求める。そして、このキャリブレーションステップは、各モデルパラメータの変動に対する目標特性値の変化の大きさをそれぞれ検出する感度解析ステップを含んでいる。

【0032】この感度解析ステップでは、例えばRSM法を用いることによりモデルパラメータと目標特性値との間の関係を求める。そして、各モデルパラメータの変動に対する目標特性値の変化の大きさをそれぞれ検出する。次に、検出した変化の大きさがある設定値より小さいモデルパラメータを低感度のモデルパラメータであると判定する。そして、この低感度のモデルパラメータを除外して他のモデルパラメータのみの調節を行う。このようにすると、計算時間を短縮することができる。

【0033】また、この発明のモデルパラメータ抽出方法において、好ましくは、ユーザパラメータを利用するのが良い。

【0034】このように、ユーザパラメータを利用すると、既存の物理モデルを用いるだけでは目標特性値と実測特性値とを許容範囲内に収束させることができない場合であっても、収束させることが可能になる。

【0035】また、この発明のモデルパラメータ抽出方法において、好ましくは、前記モデルパラメータの調節手順をメモリ装置に記憶するステップと、このメモリ装置を参照して、前記調節範囲の指定および前記モデルパラメータの調節を行うステップとを含むのが良い。

【0036】このように、モデルパラメータの抽出手順をメモリ装置に記憶してデータベース化しておくことにより、このデータベースを用いることによって、過去と同様あるいは類似の製造プロセスについてのモデルパラメータの抽出に用いた手順を利用することができる。従って、シミュレーション回数や計算時間を削減することができる。

【0037】

【発明の実施の形態】以下、図を参照して、この発明の実施の形態につき説明する。尚、図は、この発明が理解できる程度に構成要素、配置関係および手順が概略的に示されているに過ぎない。また、以下に記載する数値条件等は単なる一例に過ぎない。従って、この発明は、この発明の実施の形態に何ら限定されることがない。

【0038】〔第1の実施の形態〕図1は、この実施の形態のモデルパラメータ抽出装置の構成を示すブロック図である。この構成例のモデルパラメータ抽出装置100は、主として、範囲指定部16と、シミュレータ18と、キャリブレータ20と、判定部22と、範囲更新部24とを具えている。先ず、これら各構成要素につき順次に説明する。

【0039】上述の範囲指定部16は、モデルパラメータの調節範囲を指定するための装置である。モデルパラメータは、装置外部から、入力部12例えばキーボードやマウス等により、この範囲指定部16に入力される。そして、範囲指定部16には、入力された各モデルパラメータの値の初期の調節範囲が各モデルパラメータに対応付けられて指定される。そして、この対応付けと初期の調節範囲の指定とは例えば入力部12によって行う。この範囲指定部16は、例えば通常のメモリ装置を用いて構成される。

【0040】そして、範囲指定部16は、指定された調節範囲内のモデルパラメータの値をキャリブレータ20に出力する。このとき、範囲指定部16に入力されたモデルパラメータが複数個ある場合には、組合せ指定部32を範囲指定部16の出力側に設けておく。この組合せ指定部32は、モデルパラメータが複数の場合に、調節範囲内でモデルパラメータを組合せて出力する装置である。この組合せ指定部32により、各モデルパラメータのそれぞれの調節範囲内の任意の値が組合せられて、これら組合せが順次にキャリブレータ20に出力される。こ

のような組合せ方および組合せの出力順は、通常の実験計画法により求められる。

【0041】また、モデルパラメータの組合せは製造条件によって決まる。モデルパラメータの組合せを製造条件ごとに並べたものはデザインテーブルと呼ばれる。図2は、デザインテーブルの一例を示す表である。図中には、例えば1～4の条件に対してモデルパラメータA、BおよびCの値がそれぞれ示されている。この表中には各パラメータの値が2値すなわち論理レベル「low」および「high」で表されており、各パラメータは、条件に応じて、低レベル状態（low）と高レベル状態（high）とを取る。そして、例えば、条件1の場合には、パラメータAの値がlow、パラメータBの値がlow、およびパラメータCの値がlowであるのに対して、条件2の場合には、パラメータAの値がhigh、パラメータBの値がlow、およびパラメータCの値がlowという具合に、条件に応じて異なった組合せとなっている。

【0042】次に、シミュレータ18は、目標特性値を計算する装置である。このシミュレータ18は、例えばある物理モデルに基づいて目標特性値を算出する。

【0043】また、キャリブレーション部20は、範囲指定部16で指定された調節範囲内でモデルパラメータを調節することにより、シミュレータ18で計算された目標特性値に対するモデルパラメータのキャリブレーションを行う装置である。この構成例のキャリブレーション部20は、まず、RSM法に基づいた解析を行って、モデルパラメータと目標特性値とを関係付けるRSFを作成する。そして、このRSFを用いて、モデルパラメータに対して離散的である目標特性値の補間を行い、これを連続的なものとする。

【0044】図3は、RSFの一例を示すグラフである。この例は、2つのモデルパラメータAおよびBに関係した目標特性値に対して求められたRSFを示している。図3に示すグラフの横軸にはパラメータBを取り、また、縦軸にはパラメータAを取ってある。各軸ともに、low、mid（中レベル状態）およびhighのところで目盛って示してある。そして、このグラフ中の曲線は、ある目標特性値を表している。すなわち、グラフ中に示す1本の曲線は1つの目標特性値に対応している。言い換えれば、1つの曲線上では値が同じであり、この曲線は等特性値線となっている。また、グラフ中における曲線の並び順は目標特性値の大きさ順となっている。従って、このグラフを用いると、各モデルパラメータの調節範囲内の任意の値に対して、それぞれ目標特性値を求めることができる。よって、このグラフを参照して、目標特性値の補間を行うことができる。

【0045】図3には、シミュレータ18により得た目標特性値を黒丸印で示してある。グラフ中には5つの目標特性値が示されている。図示の通り、シミュレータ1

8により求められた目標特性値はモデルパラメータに対して離散的であるので、RSFにより目標特性値の補間を行う。この結果、モデルパラメータに対して連続的な目標特性値が得られる。

【0046】次に、上述の判定部22は、目標特性値および実測特性値間の収束判定を行う装置である。この判定部22には、装置外部の測定装置14から実測特性値が入力される。また、前述のキャリブレーション部20により得られた目標特性値が、この判定部22に入力される。これら入力に応じて、判定部22は、これら特性値に対してパラメータとなる物理量が等しいところで、これら目標特性値および実測特性値間の差を検出する。そして、判定部22は、検出した差が製造条件水準に応じて設定された許容範囲内にあるか否かを判定する。このような収束判定は次式（1）で表すように、

$$| \text{目標特性値} - \text{実測特性値} | < \text{許容範囲} \cdots (1)$$

により行われる。この（1）式が満足されるとき、モデルパラメータ抽出の作業は終了し、この結果、モデルパラメータが抽出される。しかし、この（1）式が満足されないときには、範囲更新部24によりモデルパラメータの調節範囲を変更して、再度のキャリブレーションを行う。

【0047】この範囲更新部24は、判定部22の収束判定結果に応じたモデルパラメータの調節範囲の再指定を行う装置である。上述したように、（1）式が満足されない場合は、その旨の信号が判定部22から範囲更新部24に送られ、範囲更新部24は調節範囲の再指定を行う。そして、範囲更新部24により指定された調節範囲は、前に設定されていた調節範囲の代わりに範囲指定部16に設定される。尚、この再指定により設定された調節範囲内でモデルパラメータの調節を行って上述した各構成装置を動作させても（1）式が満足されない場合には、さらに、この範囲更新部24により調節範囲の再指定が行われる。このように、（1）式が満足されるまで、範囲更新部24は、調節範囲の再指定を行う。

【0048】以上説明したモデルパラメータ抽出装置100を構成する範囲指定部16、組合せ指定部32、シミュレータ18、キャリブレーション部20、判定部22および範囲更新部24は、図示していない制御部により、これら動作タイミングが制御される。そして、このようなモデルパラメータ抽出装置100は、例えば、中央演算処理装置（CPU）、メモリ装置および入出力装置を具備するコンピュータ装置として構成してもよい。また、このモデルパラメータ抽出装置100の出力端子34すなわち判定部22の出力端子からはモデルパラメータが出力され、このモデルパラメータは外部のコンピュータ装置等で有用な設計情報として活用される。

【0049】次に、上述した範囲更新部24につき詳細に説明する。この実施の形態の構成例にあつては、この範囲更新部24の構成に特色がある。すなわち、この構

成例の範囲更新部24は、検出部26と、新規範囲指定部28と、範囲移動部30とを具えている(図1)。以下、図4を参照して、各構成要素につき順次に説明する。図4は、ある範囲更新過程で設定された調節範囲を、ウインドウa、b、cおよびd内にそれぞれ模式的に示した図である。図中の数直線の両端に記載された数字が調節範囲を表している。また、図中の黒丸印は、準最適値を表す。

【0050】上述の検出部26は、目標特性値および実測特性値間の差が最小となるモデルパラメータを準最適値として検出する。この検出部26は、判定部22の判定結果によると目標特性値および実測特性値の差が許容範囲内にはないが、そのときに設定されていた調節範囲内で最も良い収束結果を与えるモデルパラメータの値を準最適値として検出する。

【0051】図4のウインドウa内には、0~20の調節範囲を設定したときに、準最適値として値2が検出部26により検出される場合が示されている。すなわち、このウインドウa内に示されている例は、モデルパラメータ抽出装置100における第1ループの動作の結果、目標特性値および実測特性値の差が収束しなかった場合である。

【0052】そして、検出部26は、準最適値が調節範囲の端の値か否かを判定する手段を具えている。この手段により、検出された準最適値が調節範囲の端の値ではないと判断された場合には、検出部26は新規範囲指定部28に準最適値と調節範囲の両端の値とを受け渡す。

【0053】上述の新規範囲指定部28は、準最適値を中心とし、調節範囲の範囲長の半分の範囲長である数値範囲を、新規の調節範囲として指定する装置である。すなわち、図4のウインドウbに示すように、準最適値2を中心とし、範囲長が先の調節範囲0~20の範囲長20の半分の範囲長10である調節範囲-3~7が新規範囲指定部28により新規の調節範囲として設定される。そして、この新規の調節範囲は、再指定された調節範囲として範囲指定部16に設定される。モデルパラメータ抽出装置100は、この新規の調節範囲内でモデルパラメータの調節を行う第2ループの動作を開始する。

【0054】次に、この第2ループの動作の結果、収束はしなかったが、検出部26で検出された準最適値が調節範囲の端の値となってしまう場合につき説明する。この場合、検出部26は、範囲移動部30に準最適値と調節範囲の両端の値とを受け渡す。

【0055】上述の範囲移動部30は、準最適値が調節範囲の端の値であったときに、この調節範囲の範囲長を保ったまま、準最適値がこの端とは別の端になるように、この調節範囲をずらす装置である。図4のウインドウc内には、準最適値が調節範囲-3~7の高数値側の端の値である7となった場合が示されている。このとき、範囲移動部30は、範囲長10を保ったまま、準最

適値7が低数値側の端の値である範囲7~17を、新規の調節範囲として設定する(図4のウインドウd)。そして、この新規の調節範囲が再指定された調節範囲として範囲指定部16に設定される。モデルパラメータ抽出装置100は、この新規の調節範囲内でモデルパラメータの調節を行う次のループの動作を開始する。

【0056】以上説明したモデルパラメータ抽出装置100により、モデルパラメータの最適値を抽出することができる。例えば、MOSFET(MOS型電界効果トランジスタ)の実デバイスから測定可能な特性値例えばしきい値電圧 $V_{th}$ およびその基板バイアス依存性 $\Delta V_{th}$ を目標特性値として計算し、これを実測目標特性値と比較して、チャネル不純物の偏析係数や拡散係数等のモデルパラメータを最適化することができる。

【0057】次に、このモデルパラメータ抽出装置100の全体的な動作の流れにつき、図5のフローチャートを参照して、説明する。図5は、第1の実施の形態のモデルパラメータ抽出フローを示す図である。

【0058】まず、測定装置14から判定部22へ実測特性値の入力を行う(図5のS1)。次に、入力部12より範囲指定部16に対して初期の調節範囲を入力することにより、モデルパラメータの調節範囲の指定を行う(図5のS2)。組合せ指定部32は、範囲指定部16に設定された調節範囲内のモデルパラメータの組合せをキャリブレーション20に出力する(図5のS3)。また、シミュレータ18は、目標特性値を計算してキャリブレーション20に出力する(図5のS4)。キャリブレーション20は、これらモデルパラメータおよび目標特性値の入力に応じて、このモデルパラメータのキャリブレーションを開始する(図5のS5)。そして、このキャリブレーションの結果が判定部22に出力されて、判定部22はその収束判定を行う(図5のS6)。判定部22の収束判定の結果が(1)式を満たすものであれば(図5のS6におけるY)、モデルパラメータの抽出作業は終了し、すなわち、このときに調節されたモデルパラメータが出力端子34から抽出される。判定部22の収束判定の結果が(1)式を満たさないものであれば(図5のS6におけるN)、次に、判定部22は、範囲更新部24に対して動作の開始を指示する。

【0059】次に、範囲更新部24の動作につき説明する(図5のS7)。まず、検出部26は、収束判定部22からの指示を受けて、準最適値の検出を行う(図5のS8)。そして、検出部26は、検出した準最適値が調節範囲の端の値であるか否かを調べる(図5のS9)。検出部26は、検出した準最適値が「端の値」である場合に、その準最適値と現時点で範囲指定部16に設定されている調節範囲の両端の値とを新規範囲指定部28に出力する(図5のS9におけるN)。そして、新規範囲指定部28は、その入力に応じて、準最適値を中心として前に設定した調節範囲の範囲長の半分の範囲長の調節



範囲（数値範囲）を新規の調節範囲として指定する（図5のS10）。この新規の調節範囲が範囲指定部16に設定され、次に、この新規の調節範囲に対して上述の組合せ指定（図5のS3）、目標特性値の計算（図5のS4）、キャリブレーション（図5のS5）および収束判定（図5のS6）が行われる。尚、この場合の目標特性値の計算ステップは、前に計算した目標特性値を記憶しておくためのメモリ手段をキャリブレート20またはシミュレータ18に設けておけば、省略される。

【0060】また、検出部26は、検出した準最適値が「端の値」でない場合に、その準最適値と現時点で範囲指定部16に設定されている調節範囲の両端の値とを範囲移動部30に出力する（図5のS9におけるY）。つまり、この場合は、「端の値」が調節範囲の両端の値のいずれか一方と等しい場合である。そして、範囲移動部30は、「端の値」がこの端とは別の端となるような数値範囲を新規の調節範囲として指定する（図5のS11）。すなわち、「端の値」が、現時点で設定されている調節範囲の低数値側の端の値であった場合には、新しい調節範囲の高数値側の端がこの「端の値」となるように、あるいは、「端の値」が、現時点で設定されている調節範囲の高数値側の端であった場合には、新しい調節範囲の低数値側の端がこの「端の値」となるような数値範囲が新規の調節範囲として範囲指定部16に設定される。そして、次に、この新規の調節範囲に対して、上述の組合せ指定（図5のS3）、目標特性値の計算（図5のS4）、キャリブレーション（図5のS5）および収束判定（図5のS6）が行われる。

【0061】以上説明したように、この実施の形態のモデルパラメータ抽出装置100によれば、範囲更新部24を具えているので、モデルパラメータ範囲の再設定を自動で行うことができる。よって、従来手作業で行っていたモデルパラメータの調節作業を簡略化することができるので、装置全体の自動化が図れ、従って、大幅な作業効率の向上が図れる。

【0062】〔第2の実施の形態〕図6は、この実施の形態のモデルパラメータ抽出装置の構成を示すブロック図である。第1の実施の形態と同様に、この構成例のモデルパラメータ抽出装置102は、主として、範囲指定部16と、シミュレータ18と、キャリブレート20aと、判定部22と、範囲更新部24とを具えている。そして、この構成例は、キャリブレート20aが感度解析部36を具える点で特色を有する。以下、主として、この感度解析部36につき説明を行い、他の第1の実施の形態と重複する構成については説明を省略する。

【0063】上述の感度解析部36は、目標特性値に対して低感度のモデルパラメータを検出する装置である。キャリブレート20aは、この感度解析部36を利用して、モデルパラメータのキャリブレーションを行う。前述したように、キャリブレート20aは、範囲指定部1

6で指定された調節範囲内でモデルパラメータを調節することにより、シミュレータ18で計算された目標特性値に対するモデルパラメータのキャリブレーションを行う装置である。そして、キャリブレート20aは、先ず、RSM法に基づいた解析を行って、モデルパラメータと目標特性値とを関係付けるRSFを作成する。このRSFを用いて、モデルパラメータに対して離散的である目標特性値の補間を行い、これを連続的なものとする。感度解析部36は、このRSFを用いて、目標特性値に対して感度の低いパラメータを検出する。

【0064】例えば、図3を参照して説明する。前述した通り、図3には、2つのモデルパラメータAおよびBに関係した目標特性値に対して求められたRSFが示されている。そして、このグラフ中に示す曲線群すなわちRSFによれば、各曲線は、図中のほぼy方向に延在する曲線となっている。つまり、パラメータAの値の変化に対して、目標特性値の変化は比較的小さい。また、各曲線の図中のx方向に対する変化はy方向に対する変化に比べて小さい。つまり、パラメータBの値の変化に対して、目標特性値の変化は比較的大きい。従って、RSFを参照することにより、目標特性値の変化に比較的大きく寄与するパラメータが検出される。そして、目標特性値の変化に対する寄与の度合いが小さいパラメータが低感度のパラメータとして検出される。この低感度パラメータの検出は、例えば、上述した2つのパラメータAおよびBの比較により行ってもよい。この場合、この図3に示す例では、パラメータAの方が低感度パラメータとして検出される。あるいは、各パラメータの変化に対する目標特性値の変化の度合いを検出して、それらを予め設定しておいたしきい値と比較し、変化の度合いがしきい値以下となるパラメータを低感度パラメータとして検出してもよい。

【0065】このように、感度解析部36により低感度パラメータが検出される。上述したように、低感度パラメータの変化に対して目標特性値は比較的小さな変化しか示さないで、キャリブレーションの際にこの低感度パラメータを除外するようにすれば、キャリブレーション時における計算時間の短縮が、キャリブレーション結果に悪影響を与えることなく、可能になる。この実施の形態では、感度解析部36は、RSFの結果から低感度パラメータを検出し、この低感度パラメータを除外するように範囲指定部16に指示する。そして、範囲指定部16は、除外したパラメータ以外のパラメータに対する調節範囲を組合せ指定部32に出力し、組合せ指定部32は範囲指定部16で調節範囲が指定されたこの調節範囲内のパラメータの組合せをキャリブレート20aに対して出力する。

【0066】次に、このモデルパラメータ抽出装置102の全体的な動作の流れにつき、図7のフローチャートを参照して、説明する。図7は、第2の実施の形態のモ

デルパラメータ抽出フローを示す図である。

【0067】 先ず、測定装置14から判定部22へ実測特性値の入力を行う(図7のS1)。次に、入力部12より範囲指定部16に対して初期の調節範囲を入力することにより、モデルパラメータの範囲指定を行う(図7のS2)。組合せ指定部32は、範囲指定部16に設定された調節範囲内のモデルパラメータの組合せをキャリブレーション20aに出力する(図7のS3)。また、シミュレータ18は、目標特性値を計算してキャリブレーション20aに出力する(図7のS4)。

【0068】 そして、キャリブレーション20aは、これらモデルパラメータ(の組合せ)および目標特性値の入力に応じて、これらの間のキャリブレーションを開始する。その際に、先ず、RSFが作成され、感度解析部36によりパラメータの感度解析が行われる(図7のS12)。この感度解析部36で求められた低感度パラメータは範囲指定部16に出力され、範囲指定部16は、この低感度パラメータに対して設定されていた調節範囲を消去する。そして、組合せ指定部32は組合せ指定を行い、これら組合せがキャリブレーション20aに送られる。このように、キャリブレーション20aは、低感度パラメータ以外のパラメータに対してキャリブレーションを行う(図7のS5)。

【0069】 そして、このキャリブレーションの結果が判定部22に出力されて、判定部22はその収束判定を行う(図7のS6)。判定部22の収束判定の結果が(1)式を満たすものであれば(図7のS6におけるY)、モデルパラメータの抽出作業は終了し、すなわち、このときに調節されたモデルパラメータが出力端子34から抽出される。判定部22の収束判定の結果が(1)式を満たさないものであれば(図7のS6におけるN)、次に、判定部22は、範囲更新部24に対して動作の開始を指示する。範囲更新部24におけるモデルパラメータの範囲更新(図7のS7)については、第1の実施の形態で説明した通りであるから、説明を省略する。

【0070】 以上説明したように、この実施の形態のモデルパラメータ抽出装置102によれば、範囲更新部24を具えているので、モデルパラメータ範囲の再設定を自動で行うことができる。よって、従来手作業で行っていたモデルパラメータの調節作業を簡略化することができるので、装置全体の自動化が図れ、従って、大幅な作業効率の向上が図れる。

【0071】 また、この実施の形態のモデルパラメータ抽出装置102は、感度解析部36を具えているので、キャリブレーションの際に、低感度パラメータが除外される。従って、目標特性値に対して感度のあるモデルパラメータのみが選択される。よって、シミュレーション回数や計算時間すなわちTATを削減することができるため、開発コストを節約することができる。

【0072】 [第3の実施の形態] 図8は、この実施の形態のモデルパラメータ抽出装置の構成を示すブロック図である。第1の実施の形態と同様に、この構成例のモデルパラメータ抽出装置104は、主として、範囲指定部16と、シミュレータ18と、キャリブレーション20と、判定部22と、範囲更新部24とを具えている。そして、この構成例は、パラメータ設定部38を具える点で特色を有している。以下、主として、このパラメータ設定部38につき説明を行い、他の第1の実施の形態と重複する構成については説明を省略する。

【0073】 このパラメータ設定部38は、ユーザパラメータを設定するための装置である。従って、このパラメータ設定部38は通常のメモリ装置でもって構成される。ユーザパラメータとは、本装置の使用者が任意に設定するパラメータのことである。このようなユーザパラメータは、例えば、シミュレータ18に設定されているパラメータだけではキャリブレーションがうまく収束しない場合に用いて好適である。すなわち、シミュレータ18に設定されているパラメータは既存の物理モデルに基づくものであり、このような物理モデルだけではキャリブレーションができない場合に、ユーザ側で適当なパラメータを設定して、キャリブレーション結果を収束させる。例えば、しきい値電圧 $V_{th}$ およびその基板バイアス依存性 $\Delta V_{th}$ を目標特性値とすると、ゲート仕事関数の不純物ドーズ量依存性等をユーザパラメータとして設定する。

【0074】 パラメータ設定部38には、例えば、入力部12によりユーザパラメータを設定する。そして、範囲指定部16は調節範囲を指定する際に、このパラメータ設定部38を参照して、ユーザパラメータが設定されている場合には、このユーザパラメータの調節範囲を指定する。また、シミュレータ38は、パラメータ設定部38を参照して、設定されているユーザパラメータを導入したシミュレーションを行う。このように構成してあるので、モデルパラメータ抽出装置104は、ユーザパラメータが導入されたキャリブレーションを行うことができる。

【0075】 以下、このモデルパラメータ抽出装置104の全体的な動作の流れにつき、図9のフローチャートを参照して、説明する。図9は、第3の実施の形態のモデルパラメータ抽出フローを示す図である。

【0076】 先ず、測定装置14から判定部22へ実測特性値の入力を行う(図9のS1)。次に、入力部12よりパラメータ設定部38に対してユーザパラメータを入力することにより、ユーザパラメータの設定を行う(図9のS13)。続いて、入力部12より範囲指定部16に対して初期の調節範囲を入力することにより、モデルパラメータおよびユーザパラメータの範囲指定を行う(図9のS2)。組合せ指定部32は、範囲指定部16に設定された調節範囲内のモデルパラメータおよびユ

ーザパラメータの組合せをキャリブレーション20に出力する(図9のS3)。また、シミュレータ18は、ユーザパラメータを考慮した目標特性値の計算を行い、この計算結果をキャリブレーション20に出力する(図9のS4)。

【0077】次に、キャリブレーション20は、これらモデルパラメータ(の組合せ)、ユーザパラメータおよび目標特性値の入力に応じて、これらの間のキャリブレーションを開始する(図9のS5)。そして、このキャリブレーションの結果が判定部22に出力されて、判定部22はその収束判定を行う(図9のS6)。判定部22の収束判定の結果が(1)式を満たすものであれば(図9のS6におけるY)、モデルパラメータの抽出作業は終了し、すなわち、このときに調節されたモデルパラメータが出力端子34から抽出される。判定部22の収束判定の結果が(1)式を満たさないものであれば(図9のS6におけるN)、次に、判定部22は、範囲更新部24に対して動作の開始を指示する。範囲更新部24におけるモデルパラメータの範囲更新(図9のS7)については、第1の実施の形態で説明した通りであるから、説明を省略する。

【0078】以上説明したように、この実施の形態のモデルパラメータ抽出装置104によれば、範囲更新部24を具えているので、モデルパラメータ範囲の再設定を自動で行うことができる。よって、従来手作業で行っていたモデルパラメータの調節作業を簡略化することができるので、装置全体の自動化が図れ、従って、大幅な作業効率の向上が図れる。

【0079】また、この実施の形態のモデルパラメータ抽出装置104は、パラメータ設定部38を具えているので、ユーザパラメータを導入したキャリブレーションを行うことができる。従って、既存のモデルパラメータだけでは設定した許容範囲内に収束しない場合に、目標特性値に感度のある新たなパラメータを設定することができるため、収束性が向上する。つまり、既存のプロセス・デバイス・回路モデルにユーザパラメータを加えることで収束性が向上されることから、設定した許容範囲内に収束しないデバイスがあった場合、シミュレータに新たなプロセス・デバイス・回路モデルを導入するまでの間、ユーザパラメータを導入したシミュレータを利用することができる。このように、簡便なユーザパラメータの設定だけで収束性が向上することから、開発コストの節約が図れるといった利点がある。

【0080】[第4の実施の形態]図10は、この実施の形態のモデルパラメータ抽出装置の構成を示すブロック図である。第1の実施の形態と同様に、この構成例のモデルパラメータ抽出装置106は、主として、範囲指定部16と、シミュレータ18と、キャリブレーション20と、判定部22と、範囲更新部24とを具えている。そして、この構成例は、メモリ装置40を具える点で特色

を有している。以下、主として、このメモリ装置40につき説明を行い、他の第1の実施の形態と重複する構成については説明を省略する。

【0081】メモリ装置40は、モデルパラメータの調節手順を記憶しておくための装置である。そして、範囲指定部16は、このメモリ装置40を参照して調節範囲の指定を行い、組合せ指定部32は、このメモリ装置40を参照してモデルパラメータの調節を行うように構成されている。また、この構成例では、キャリブレーション20も、メモリ装置40を参照して、動作するように構成されている。

【0082】このように、この構成例にあつては、過去に行ったモデルパラメータの抽出手順をこのメモリ装置40に記憶しておくことができる。このように、手順をデータベース化(フィッティングデータベース)でき、また、このデータベースを用いることで、過去と同様の製造プロセスで形成されるデバイスのキャリブレーションを比較的簡単に行える。

【0083】以下、このモデルパラメータ抽出装置106の全体的な動作の流れにつき、図11のフローチャートを参照して、説明する。図11は、第4の実施の形態のモデルパラメータ抽出フローを示す図である。

【0084】まず、測定装置14から判定部22へ実測特性値の入力を行う(図11のS1)。次に、範囲指定部16は、メモリ装置40に記憶されているフィッティングデータベースを参照して、過去と同様の調節範囲を設定する(図11のS14およびS2)。尚、これから行おうとするモデルパラメータの抽出手順が過去に行った手順と同様でない場合は、第1の実施の形態と同様に、範囲指定部16には入力部12により初期調節範囲を入力する。

【0085】また、組合せ指定部32は、メモリ装置40を参照して、範囲指定部16に設定された調節範囲内のモデルパラメータおよびユーザパラメータの組合せをキャリブレーション20に出力する(図11のS3)。そして、シミュレータ18は、目標特性値の計算を行い、この計算結果をキャリブレーション20に出力する(図11のS4)。

【0086】次に、キャリブレーション20は、モデルパラメータ(の組合せ)および目標特性値の入力に応じて、これらの間のキャリブレーションを開始する(図11のS5)。このとき、このキャリブレーションが過去に行われている場合には、メモリ装置40に記憶されているその手順がキャリブレーション20に入力されて、キャリブレーションが行われる。そして、このキャリブレーションの結果が判定部22に出力され、判定部22はその収束判定を行う(図11のS6)。判定部22の収束判定の結果が(1)式を満たすものであれば(図11のS6におけるY)、モデルパラメータの抽出作業は終了し、すなわち、このときに調節されたモデルパラメータが出

力端子34から抽出される。ここで、このように収束した場合、判定部22は、そのときのモデルパラメータ抽出までの手順をフィッティングデータベースとしてメモリ装置40に記憶する(図11のS15)。

【0087】また、判定部22の収束判定の結果が

(1)式を満たさないものであれば(図11のS6におけるN)、次に、判定部22は、範囲更新部24に対し動作の開始を指示する。範囲更新部24におけるモデルパラメータの範囲更新(図11のS7)については、第1の実施の形態で説明した通りであるから、説明を省略する。

【0088】以上説明したように、この実施の形態のモデルパラメータ抽出装置106によれば、範囲更新部24を具えているので、モデルパラメータ範囲の再設定を自動で行うことができる。よって、従来手作業で行っていたモデルパラメータの調節作業を簡略化することができるので、装置全体の自動化が図れ、従って、大幅な作業効率の向上が図れる。

【0089】また、この実施の形態のモデルパラメータ抽出装置106は、メモリ装置40を具えているので、過去のモデルパラメータ抽出手順やモデルパラメータの調節範囲等を利用することができる。また、メモリ装置40には、過去に行った手順だけでなく、実測により得た半導体デバイスの特性値等も保存することができる。よって、パラメータの更新に係るループ回数が減少し、すなわちシミュレーション回数や計算時間を削減することができる。特に、半導体製造プロセスが過去にキャリブレーションを行ったデバイスと似通っている場合に有効である。

【0090】〔第5の実施の形態〕図12は、この実施の形態のモデルパラメータ抽出装置の構成を示すブロック図である。この構成例のモデルパラメータ抽出装置108は、第1、第2、第3および第4の実施の形態を組合せたものである。すなわち、この構成例のモデルパラメータ抽出装置108は、第1の実施の形態で説明したように、主として、範囲指定部16と、シミュレータ18と、キャリブレータ20aと、判定部22と、範囲更新部24とを具えている。この範囲更新部24の詳細な構成は第1の実施の形態で説明した通りである。そして、この構成例は、第2の実施の形態で説明した感度解析部36と、第3の実施の形態で説明したパラメータ設定部38と、第4の実施の形態で説明したメモリ装置40とを具えている。これら各構成装置については、各実施の形態で説明した通りであるから説明を省略する。従って、この構成例のモデルパラメータ抽出装置108は、各実施の形態で説明した利点を有している。

【0091】この実施の形態では、モデルパラメータ抽出装置108を用いてキャリブレーションを行った結果につき説明する。図13(A)は、NMOSFETのしきい値電圧 $V_{th}$ の基板バイアス依存性を示すグラフで

ある。グラフの横軸にバイアス電圧 $-V_b$ を、V(ボルト)単位で0~14(V)の範囲を2(V)ごとに目盛って取ってある。また、グラフの縦軸にしきい値電圧 $V_{th}$ を、V(ボルト)単位で0~3(V)の範囲を0.5(V)ごとに目盛って取ってある。

【0092】図13(B)は、目標特性値および実測特性値の間の差を示すグラフである。グラフの横軸に図13(A)の横軸と同様に、バイアス電圧 $-V_b$ を、V(ボルト)単位で0~14(V)の範囲を2(V)ごとに目盛って取ってある。また、グラフの縦軸は $V_{th}$ の計算値(目標特性値)と $V_{th}$ の実測値(実測特性値)との差(Residual)を、V(ボルト)単位で-0.2~0.2(V)の範囲を0.05(V)ごとに目盛って取ってある。

【0093】尚、グラフ中の記号#は製造条件を表す。そして、記号Expは実測値を示し、記号Simは計算値を示している。この例では、6通りの製造条件2、4、7、10、12および14が示されている。そして、各製造条件の下で、計算値(目標特性値)と実測値(実測特性値)とを求め、これらの間の差を求めた。この例では、チャンネル不純物ドーズ量を製造条件として、6通りに異ならせてキャリブレーション結果を得ている。図13(A)に示す実測値は、0(V)から8(V)まで1(V)ごとにバイアス電圧 $-V_b$ を変えて測定して得たものである。そして、これら実測値および計算値を、実測値を測定したバイアス電圧のところで比較した結果が図13(B)である。図13(B)の縦軸には、-0.05(V)~0.05(V)の範囲が許容範囲として設定されている。図13(B)の場合、求めたすべての残差(|計算値-実測値|)が許容範囲内にある。

【0094】また、図14は、図13の結果と対比するためのグラフであり、図14(A)は、キャリブレーションせずに求めたNMOSFETのしきい値電圧 $V_{th}$ の基板バイアス依存性を示すグラフである。そして、図14(B)は、目標特性値および実測特性値の間の差を示すグラフである。これら図14(A)および(B)に示すグラフは、図13(A)および(B)に示したグラフとそれぞれ軸の取り方、単位および目盛りを対応させて示してある。実測値は図13と同じものを用いている。尚、図14(B)の縦軸には、-0.05(V)~0.05(V)の範囲が許容範囲として設定されている。図14(B)の場合、求めた残差(|計算値-実測値|)の大部分が許容範囲外にある。

【0095】図13(B)および図14(B)の対比から明らかなように、この実施の形態のモデルパラメータ抽出装置108を用いた場合の方が、収束結果が良好である。すなわち、図13(B)に示すすべての残差が許容範囲内にあるのに対し、図14(B)に示す多くの残差が許容範囲外にある。従って、モデルパラメータの抽

出にあっては、モデルパラメータ抽出装置108を用いるのが有効であることが確認される。

#### 【0096】

【発明の効果】この発明のモデルパラメータ抽出装置によれば、目標特性値および実測特性値の間の差が最小となるモデルパラメータを準最適値として検出する検出部と、準最適値を中心とした前の調節範囲の半分の範囲を新規調節範囲として指定する新規範囲指定部とを具える範囲更新部を有しているので、自動的にモデルパラメータの調節範囲を絞り込むことができる。従って、モデルパラメータの再設定を従来のように手作業で行う必要がなくなり、よって、モデルパラメータ抽出装置の自動化が図れる。

【0097】また、この発明のモデルパラメータ抽出装置によれば、範囲更新部は、準最適値が調節範囲の端の値であったときに、この調節範囲の範囲長を保ったまま、準最適値がこの端とは別の端になるように、この調節範囲をずらす範囲移動部を具えている。このように範囲更新部を構成しておくこと、最適モデルパラメータを含む調節範囲を適切に設定するとともに調節範囲を絞り込むことができる。

【0098】また、この発明のモデルパラメータ抽出装置によれば、モデルパラメータが複数の場合に調節範囲内でモデルパラメータを組合せて出力する組合せ指定部を具えている。この組合せ指定部によって、複数のモデルパラメータを調節する必要があるときに、調節範囲内の各モデルパラメータの全組合せが順次にキャリブレーションに出力されるようにできる。

【0099】また、この発明のモデルパラメータ抽出装置によれば、目標特性値に対して低感度のモデルパラメータを検出する感度解析部を具えている。目標特性値は低感度のモデルパラメータに大きく依存しないから、この低感度のモデルパラメータを除外して他のモデルパラメータのみの調節を行うようにすると、計算時間を短縮することができる。

【0100】また、この発明のモデルパラメータ抽出装置によれば、ユーザパラメータを設定するためのパラメータ設定部を具えている。これにより、既存の物理モデルを用いるだけでは目標特性値と実測特性値とを許容範囲内に収束させることができない場合であっても、このようなパラメータをパラメータ設定部に設定して、このパラメータを用いて調節を行えば、収束させることが可能になる。

【0101】また、この発明のモデルパラメータ抽出装置によれば、モデルパラメータの抽出手順をメモリ装置に記憶してデータベース化しておくことにより、このデータベースを用いることによって、過去と同様あるいは類似の製造プロセスについてのモデルパラメータの抽出に用いた手順を利用することができる。従って、シミュレーション回数や計算時間を削減することができる。

【0102】次に、この発明のモデルパラメータ抽出方法によれば、範囲更新ステップを含むので、自動的にモデルパラメータの調節範囲を絞り込むことができる。従って、モデルパラメータの再設定を従来のように手作業で行う必要がなくなり、よって、モデルパラメータの抽出手順の自動化が図れる。

【0103】また、この発明のモデルパラメータ抽出方法によれば、範囲更新ステップは、準最適値が前の調節範囲の端の値であったときに、この調節範囲の範囲長を保ったまま、準最適値がこの端とは別の端になるように、この調節範囲をずらす範囲移動ステップを含む。このように範囲更新ステップを行うと、最適モデルパラメータを含む調節範囲を適切に設定するとともに調節範囲を絞り込むことができる。

【0104】また、この発明のモデルパラメータ抽出方法によれば、モデルパラメータが複数の場合に調節範囲内でモデルパラメータを組合せて出力する組合せ指定ステップを含む。従って、この組合せ指定ステップによって、複数のモデルパラメータを調節する必要があるときに、調節範囲内の各モデルパラメータの全組合せを順次に出力することができる。

【0105】また、この発明のモデルパラメータ抽出方法によれば、目標特性値に対して低感度のモデルパラメータを検出する感度解析ステップを含む。そして、低感度のモデルパラメータを除外して他のモデルパラメータのみの調節を行うので、計算時間を短縮することができる。

【0106】また、この発明のモデルパラメータ抽出方法によれば、ユーザパラメータを利用するので、既存の物理モデルを用いるだけでは目標特性値と実測特性値とを許容範囲内に収束させることができない場合であっても収束させることが可能になる。

【0107】また、この発明のモデルパラメータ抽出方法によれば、モデルパラメータの抽出手順をメモリ装置に記憶してデータベース化しておくことにより、このデータベースを用いることによって、過去と同様あるいは類似の製造プロセスについてのモデルパラメータの抽出に用いた手順を利用することができる。従って、シミュレーション回数や計算時間を削減することができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】第1の実施の形態のモデルパラメータ抽出装置の構成を示す図である。

【図2】デザインテーブルの一例を示す図である。

【図3】RSFの一例を示す図である。

【図4】範囲更新の説明に供する図である。

【図5】第1の実施の形態のモデルパラメータ抽出フローを示す図である。

【図6】第2の実施の形態のモデルパラメータ抽出装置の構成を示す図である。

【図7】第2の実施の形態のモデルパラメータ抽出フロ

ーを示す図である。

【図8】第3の実施の形態のモデルパラメータ抽出装置の構成を示す図である。

【図9】第3の実施の形態のモデルパラメータ抽出フローを示す図である。

【図10】第4の実施の形態のモデルパラメータ抽出装置の構成を示す図である。

【図11】第4の実施の形態のモデルパラメータ抽出フローを示す図である。

【図12】第5の実施の形態のモデルパラメータ抽出装置の構成を示す図である。

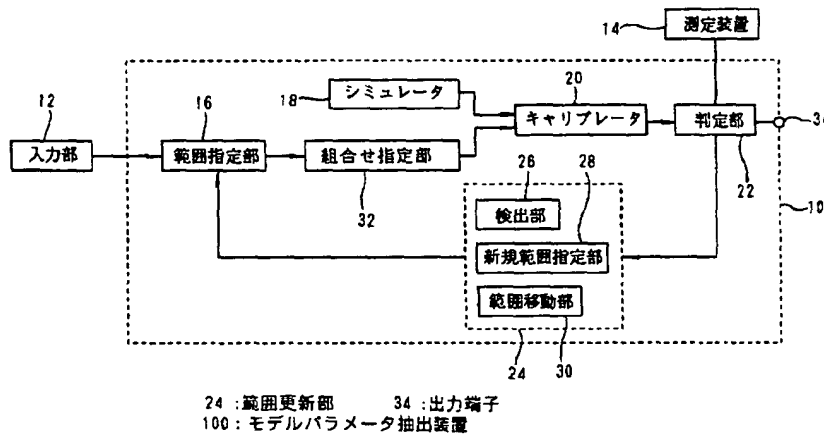
【図13】実施の形態のモデルパラメータ抽出装置を用いたときのキャリブレーション結果を示す図である。

【図14】キャリブレーションせずに求めたときの値電圧の基板バイアス依存性を示す図である。

【符号の説明】

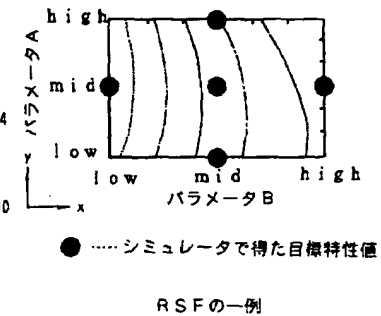
12：入力部  
14：測定装置  
16：範囲指定部  
18：シミュレータ  
20、20a：キャリブレータ  
22：判定部  
24：範囲更新部  
26：検出部  
28：新規範囲指定部  
30：範囲移動部  
32：組合せ指定部  
34：出力端子  
36：感度解析部  
38：パラメータ設定部  
40：メモリ装置  
100、102、104、106、108：モデルパラメータ抽出装置

【図1】



第1の実施の形態のモデルパラメータ抽出装置

【図3】

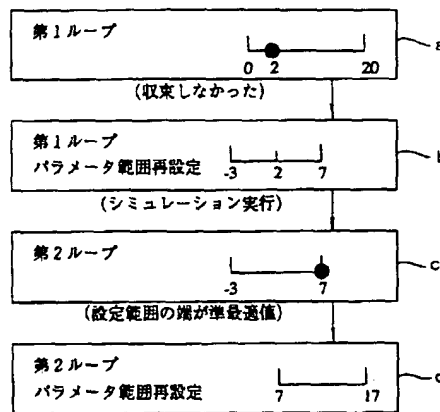


【図2】

条件	パラメータA	パラメータB	パラメータC
1	low	low	low
2	high	low	low
3	low	high	low
4	low	low	high

デザインテーブルの一例

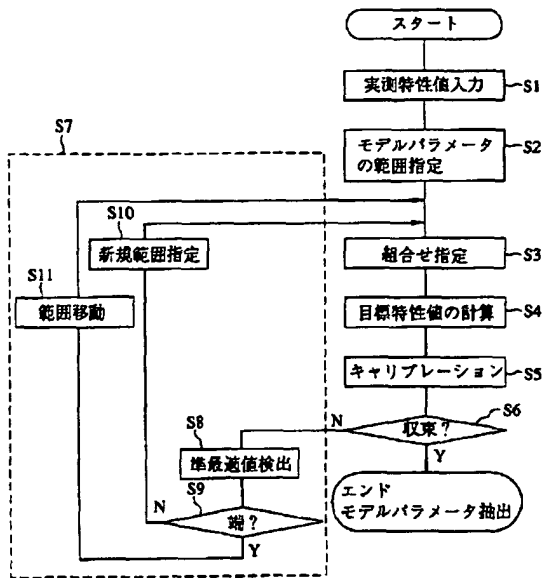
【図4】



..... 準最適値

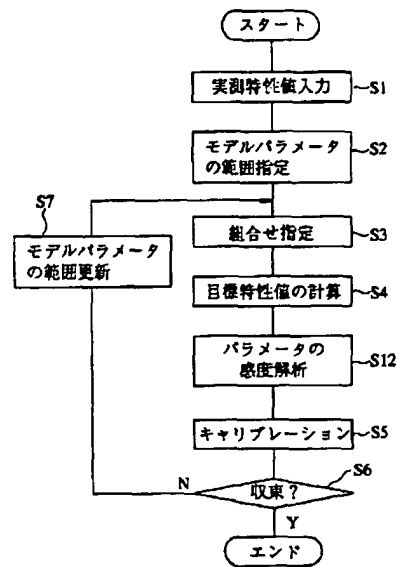
範囲更新の説明に供する図

【図5】



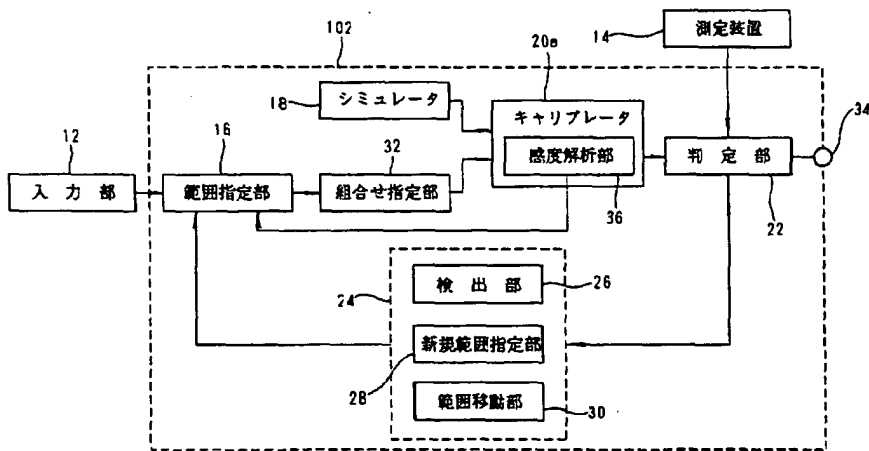
第1の実施の形態のモデルパラメータ抽出フロー

【図7】



第2の実施の形態のモデルパラメータ抽出フロー

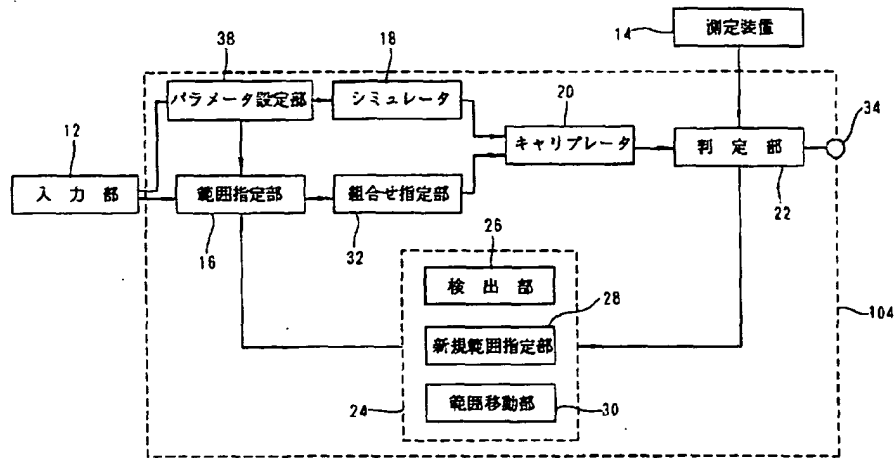
【図6】



102: モデルパラメータ抽出装置

第2の実施の形態のモデルパラメータ抽出装置

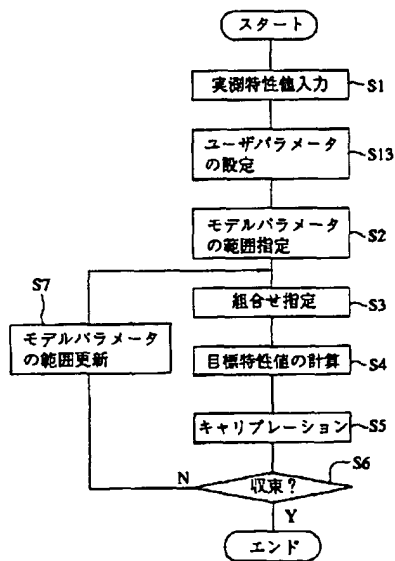
【図8】



104: モデルパラメータ抽出装置

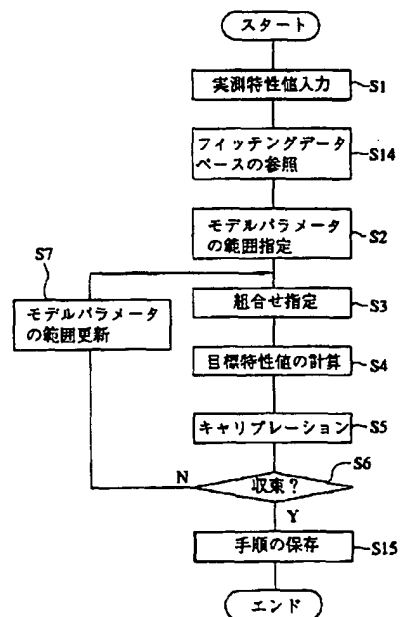
第3の実施の形態のモデルパラメータ抽出装置

【図9】



第3の実施の形態のモデルパラメータ抽出フロー

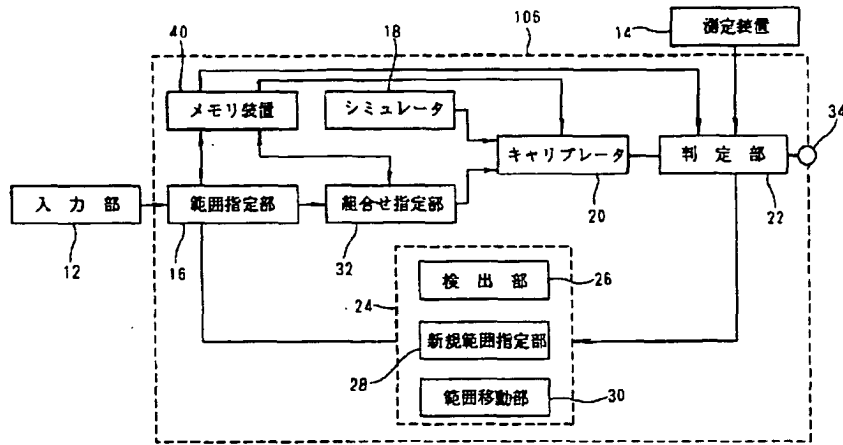
【図11】



第4の実施の形態のモデルパラメータ抽出フロー



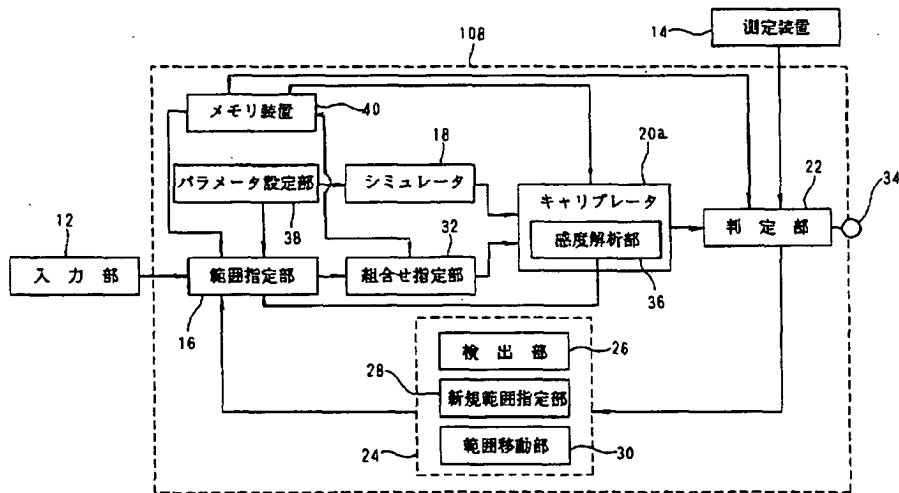
【図10】



106: モデルパラメータ抽出装置

第4の実施の形態のモデルパラメータ抽出装置

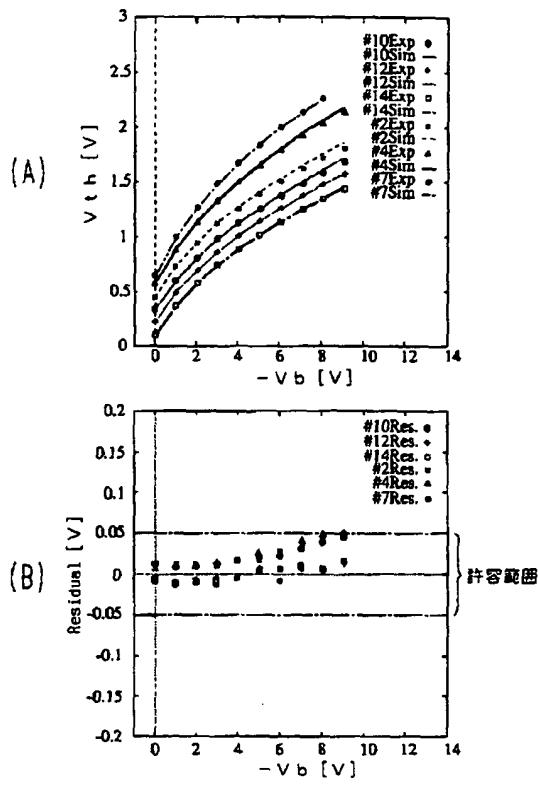
【図12】



108: モデルパラメータ抽出装置

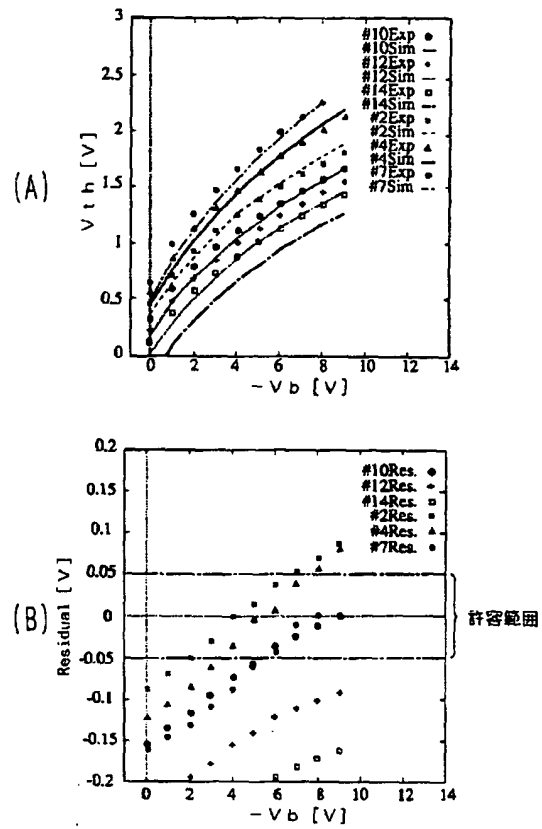
第5の実施の形態のモデルパラメータ抽出装置

【図13】



実施の形態の7μm/0.5μm抽出装置を用いたときのキャリブレーション結果

【図14】



キャリブレーションせずに求めたしきい値電圧の基板バリエーション依存性